

CadCom, software para el cálculo de radioenlaces. *Manual de usuario*

Juan C. Gómez
Germán H. Gonzáles
Jorge E. Quiroga

RESUMEN

El diseño de radioenlaces tanto terrestres como satelitales involucra tal cantidad de variables de entrada (datos y criterios de diseño), pasos (ecuaciones para el cálculo de diferentes parámetros) y variables de salida (resultados), que necesariamente obligan al diseñador a hacer uso de alguna herramienta automática de diseño, más aun si para llegar al diseño final se requiere evaluar diferentes alternativas.

Palabras clave: Diseño, radioenlaces, herramienta, automática, alternativa.

ABSTRACT

The design of radio links as much lands as satellites involves such quantity of entry variables (datas and designs criterions), steps (equations for the calculation of differents parameters) and starting variables (results), that necessarily obligate to designer to do use of some automatic tool of design, still more if by to obtain the finale design we require to evaluate differents alternatives.

Key word: Design, radio links, tool, automatic, alternative.

INTRODUCCION

Tanto el proceso de enseñanza–aprendizaje como el desempeño profesional relacionado con la planeación, evaluación cálculo y diseño de radioenlaces de línea de vista obligan al futuro diseñador o al diseñador mismo a interactuar con una cantidad considerable de conceptos, criterios de diseño, toma de decisiones, alternativas, etc. La integración adecuada de todas estas variables debe resultar en la mejor propuesta tanto desde una perspectiva técnica como financiera.

El programa consiste de tres módulos principales: 1. Enlaces punto a punto. 2. Síntesis de antenas. 3. Enlaces satelitales.

Motivados por esta razón los autores nos dimos a la tarea de concebir una herramienta de software que asista al proyectista en el ejercicio de diseño de radioenlaces terrestres y satelitales tanto analógicos como satelitales.

Esta herramienta incorpora un elemento novedoso con respecto a otras que se ofrecen en el mercado: El software esta concebido de manera tal que además de asegurar resultados confiables dados los métodos de cálculo y ecuaciones de diseño que se utilizan, puede ser usado también como una muy importante ayuda para la enseñanza y el aprendizaje. CadCom 2.0 (Software para el cálculo de radioenlaces) combina entonces dos importantes escenarios: El académico y el empresarial.

En esta segunda parte se presenta la manera en que se ejecuta CadCom 2.0

CADCOM 2.0

El programa consiste de tres módulos principales:

1. Enlaces punto a punto.
2. Síntesis de antenas.
3. Enlaces satelitales.

Presenta las mismas ventajas que cualquier programa para Windows: Es posible abrir cualquiera de sus módulos en cualquier momento de manera que sean interactivos [1].

Usando este programa se podrá:

- Diseñar radioenlaces punto a punto de microondas para frecuencias desde 1 a 25 GHz y hasta 60 GHz usando los modelos de atenuación por lluvia dados por Crane [2] y Olsen [3].
- Diseñar las estaciones transmisora y receptora: Altura de antenas, zonas de Fresnel a despejar, diámetro de las antenas, potencia de transmisión, margen de disponibilidad de los radios y toda la información intermedia necesaria para una correcta evaluación.
- Diseñar estaciones de transmisión y recepción satelitales.
- Guardar y modificar archivos generados para los radioenlaces punto a punto en el formato nativo .pfl e imprimir la información de los resultados obtenidos.

INICIANDO LA APLICACIÓN

La ventana principal de CadCom 2.0 es la siguiente:

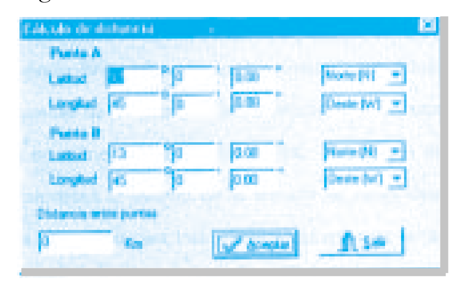


Artículo recibido en Abril de 2002
Aceptado en Junio de 2002

Para iniciar el diseño de un radioenlace punto a punto es necesario pulsar el botón **Dibujar Perfil** en la barra de herramientas.

ENLACE PUNTO A PUNTO

Para iniciar el diseño de un radioenlace punto a punto es necesario pulsar el botón **Dibujar Perfil** en la barra de herramientas e inmediatamente aparece la siguiente ventana:



En esta ventana aparecen las casillas correspondientes para introducir los datos de posición geográfica de los puntos sobre los que se desea establecer el radioenlace de microondas terrestres.

En la práctica estos datos son suministrados por medio de la utilización de un aparato de posicionamiento geográfico GPS o por medio de un mapa de coordenadas. Al oprimir el botón **Aceptar** aparece la distancia que separa a los dos puntos y con el botón **Salir** se pasa a la siguiente ventana:

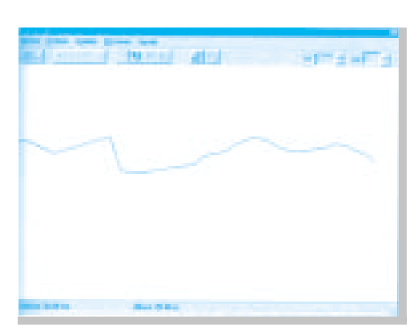


La ventana de parámetros de perfil permite introducir los datos de nombre del trabajo, nombre del autor y nombre de los puntos a interconectar; aparece también el valor de distancia entre los dos puntos aumentada un 10% para proporcionar comodidad al usuario en la entrada de datos desde el ratón. La casilla de altura máxima es para indicarle al programa cual es la mayor altura y así los formatos de escalización adecuados.

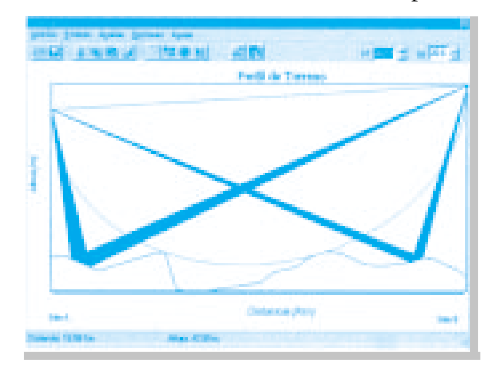
INGRESANDO LOS DATOS DEL PERFIL

En esta parte se encuentra el usuario con la posibilidad de introducir los puntos de perfil (distancia y altura), los cuales se enlazan por medio de líneas rectas. En la parte inferior de la ventana principal aparecen en una barra de estado los valores de distancia y altura en la que el ratón se encuentra.

Un perfil en proceso de introducción puede ser como el mostrado en la siguiente ventana:

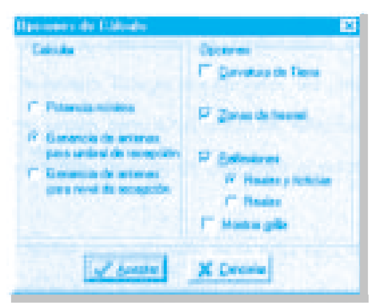


Luego se termina la introducción de los datos del perfil oprimiendo el botón **Actualizar** e inmediatamente el perfil es escalizado para hacer un uso óptimo de la pantalla, además se obtiene inmediatamente la línea de vista óptima (línea roja), la curva correspondiente a las zonas de Fresnel (color verde) y las reflexiones si se tiene habilitada esta opción.



El gráfico obtenido es el siguiente:

Las opciones para el trazado del perfil se dan a través del menú: **Síntesis / Enlace / Opciones.**



En la sección **Opciones de Cálculo** (ventana anterior) se tienen las opciones de cálculo de radioenlaces:

- **Potencia mínima:** Los cálculos de potencia de salida del transmisor se hacen de forma tal que el valor de potencia es el mínimo permisible.
- **Ganancia de antenas para umbral de recepción:** Se hace el cálculo de las antenas para obtener el mínimo de recepción según el valor de potencia de transmisión.
- **Ganancia de antenas para nivel de recepción:** Hace los cálculos correspondientes de ganancia de antenas para un nivel de recepción deseado.
- **Curvatura de tierra:** Esta opción permite hacer los cálculos teniendo en cuenta la curvatura de la tierra. Este efecto se puede ver directamente en la

ventana principal por medio de el botón **Curvatura de la Tierra**.

- **Zonas de Fresnel:** Se hacen los cálculos correspondientes al despeje de las zonas de Fresnel y se realiza su respectiva liberación.
- **Reflexiones:** Habilita o deshabilita la visualización de las reflexiones presentes sobre el terreno. Existen dos opciones: Las reflexiones reales y las no reales, esta última opción permite visualizar las reflexiones geométricas sin tener en cuenta si existe una línea de vista entre el punto de reflexión y las antenas.
- **Mostrar grilla:** Habilita la visualización de la grilla para distancia y altura, es bastante útil cuando se hace la impresión.

PARAMETROS DE CÁLCULO

Esta es la parte correspondiente a la entrada de datos necesarios para los cálculos del radioenlace propiamente dicho. La ventana de datos contiene cuatro carpetas que identifican a cada uno de los elementos envueltos en el radioenlace:



En la ventana anterior aparece la carpeta correspondiente al transmisor:

- **Ganancia:** Es la ganancia de la antena transmisora cuando tiene la opción de potencia mínima en la ventana de opción de cálculo.
- **Perdidas por alineación:** Es el valor en decibeles que se pierden por una incorrecta alineación de las antenas, puede ser ocasionado por el corrimiento de las antenas debido al viento o por desajustes de las torres en las que se encuentran montadas estas.
- **Frecuencia de operación:** Es el valor de la frecuencia portadora seleccionada para el enlace.
- **Pérdidas inherentes:** Son la suma de las perdidas en el sistema de alimentación de antena.
- **Guía de onda:** Se introduce el valor de atenuación por cada 100 metros, se pueden encontrar valores de 10 dB por cada 100 metros para frecuencias superiores a los 15 GHz.
- **Longitud**: Es la longitud de guía de onda en metros.

Para la segunda carpeta se tiene:



- **Ganancia:** Es la ganancia de la antena receptora en dB.
- **Temperatura de antena:** Este valor generalmente depende de la frecuencia y de las dimensiones de la antena pero un valor de 100 grados Kelvin es apropiado para estas antenas colocadas paralelas a la superficie de la tierra.
- **VSWR:** Es el valor de la razón de onda estacionaria por voltaje del conjunto alimentador – reflector, un valor típico puede ser 1.09.
- **Pérdida por conversión:** Es la perdida que ocasiona el amplificador al hacer la conversión de frecuencias.
- **Figura de ruido:** Es el valor de la figura de ruido de los aparatos amplificadores.
- **Ancho de banda:** Es el valor de ancho de banda del canal de radio en MHz.
- **S/N:** Es la relación señal a ruido que se desea en el receptor cuando se está trabajando con radio análogo (cuando se tiene la opción de enlace análogo).

Cuando se tiene la opción digital el valor de C/N es calculado internamente dependiendo del tipo de modulación utilizada.

Para la tercera carpeta se tiene:

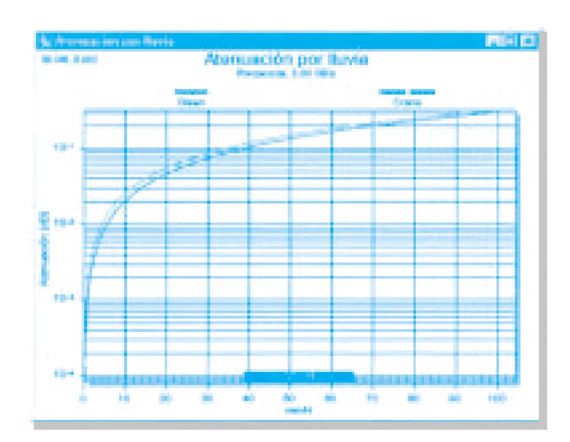


Ahora aparecen los parámetros del medio de propagación:

Reflexiones: Habilita o deshabilita la visualización de las reflexiones presentes sobre el terreno.

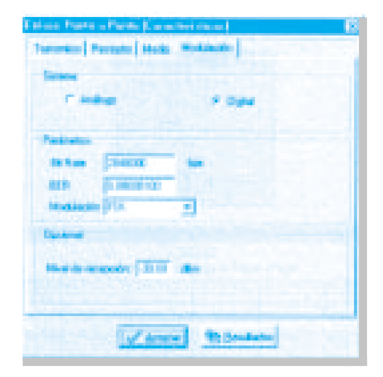
Índice de refracción: Este parámetro “altera” la curvatura de la tierra. Es necesario conocer el valor del índice de refracción de la localidad.

- **Índice de refracción:** Este parámetro “altera” la curvatura de la tierra. Es necesario conocer el valor del índice de refracción de la localidad. En caso de no conocerse debe usarse el valor estándar para el cual el factor K es igual a 4/3.
- **Temperatura:** Es el valor de temperatura de la localidad receptora, el mismo afecta el valor de la potencia de ruido que generan la guía de ondas y los amplificadores.
- **Precipitación:** Se utiliza para hacer los cálculos de atenuación por lluvia. Generalmente se introducen los valores dados por mapas de distribución climática.
- **Zonas de Fresnel:** Es el número o fracción de zonas de Fresnel a despejar.
- **Rugosidad:** Es el valor de la diferencia entre un rayo directo y uno reflejado que puede inferir en el punto de recepción. Si el valor de rugosidad que se introduce es igual a cero se supone una superficie totalmente lisa.
- **Polarización:** Para enlaces punto a punto se utilizan las polarizaciones vertical y horizontal, estas a su vez indican al modelo Crane (2) que polarización utilizar.



- **Modelo de precipitación:** Esta parte hace posible la selección del modelo de precipitación que se esta utilizando. Los modelos disponibles son el de Crane (2) y el de Olsen (3).

En la cuarta carpeta se tienen los parámetros de modulación:



- **Sistema de modulación:** Análoga o digital, realmente el interés esta centrado en las comunicaciones digitales y las alternativas del esquema de modulación disponibles son QPSK, 16QAM y FSK. Se recuerda que los más utilizados actualmente son los dos primeros. Los otros parámetros son:

  1. **Bit Rate:** Es la velocidad de transmisión en BIT por segundo.
  2. **BER:** Bit Error Rate. Es la tasa de error posible en la transmisión. El usuario puede introducir la razón que desee, no obstante los valores más usuales son de diez a la menos seis y hasta diez a la menos once con sistemas de corrección de errores.
  3. **Modulación:** Se puede escoger entre los esquemas FSK, QPSK, 16QAM. Las curvas de BER contra la relación portadora a ruido están disponibles por medio de la opción **Análisis / Probabilidad de Error:**



Luego de haber hecho las entradas correspondientes se pulsa el botón **Resultados** y se obtiene:



En la ventana de resultados se encuentran:

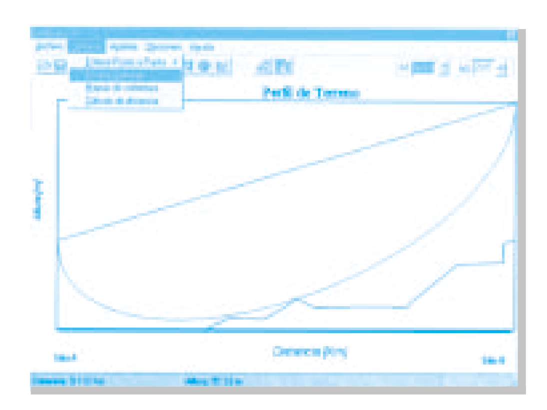
- **Ganancia de antena:** Este es el valor de ganancia de antena obtenido según el tipo de análisis solicitado en la ventana de opciones.
- **Altura de antena:** Es la altura de cada una de las torres sobre la superficie en la cual se encuentre.
- **Potencia de salida:** Según el tipo de análisis este valor puede ser el valor mínimo de potencia de salida del transmisor, o el valor de potencia de salida especificado en otra de las opciones, sin embargo, los cálculos se hacen con base en el valor de potencia que se específica en la ventana de parámetros.
- **Atenuación por espacio libre:** Representa las pérdidas por espacio libre.
- **Atenuación por lluvia:** Es el valor de atenuación calculado según los modelos de Crane (2) u Olsen (3), depende del valor en kilómetros que el usuario especifique.
- **Ruido Total:** Es el valor de potencia de ruido del sistema bajo condiciones normales de transmisión, es decir, es la potencia de ruido debido a fuentes de ruido gaussiano aditivo.
- **Umbral de recepción:** Es el valor de potencia mínimo que satisface las condiciones de recepción del sistema, este valor incluye la relación portadora a ruido.
- **Pérdidas totales:** Es el valor de pérdidas totales del sistema: Pérdidas por espacio libre, pérdidas por inserción y pérdidas por alineación.
- **C/N:** Es el valor de portadora a ruido para el sistema dependiendo del esquema de modulación escogido y la taza de error indicada.
- **Nivel de lluvia crítico:** Es el valor en mm/H de lluvia que puede degradar el radioenlace. Generalmente este tipo de precipitaciones es bastante alto comparado con los niveles normales en las localidades.
- **Disponibilidad:** Es el valor porcentual sobre un año en el cual el radioenlace opera adecuadamente. En la práctica se buscan disponibilidades de 99.9999%.
- **Margen de desvanecimiento:** Es el valor de potencia recibida por encima del umbral de recepción.

En esta ventana existe un botón de impresión en el cual se genera una hoja con los datos anteriores y los de autor, fecha y nombre del radioenlace. Sobre la barra de herramientas se puede pulsar un botón para hacer la impresión del perfil tal y como aparece en la pantalla

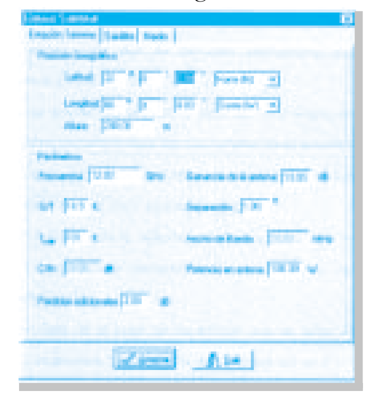
Pérdidas totales: Es el valor de pérdidas totales del sistema: Pérdidas por espacio libre, pérdidas por inserción y pérdidas por alineación.

ENLACE SATELITAL

Por medio de **Síntesis / enlace Satelital** se puede acceder a la ventana correspondiente:



Aparece entonces la siguiente ventana:



En esta parte se encuentran las carpetas correspondientes a: Estación Terrena, satélite y medio. En la parte superior de la ventana se introducen la posición geográfica y la altura de la estación terrena.

A continuación se presentan los parámetros necesarios para el cálculo de la estación terrena tanto para el enlace ascendente como descendente.

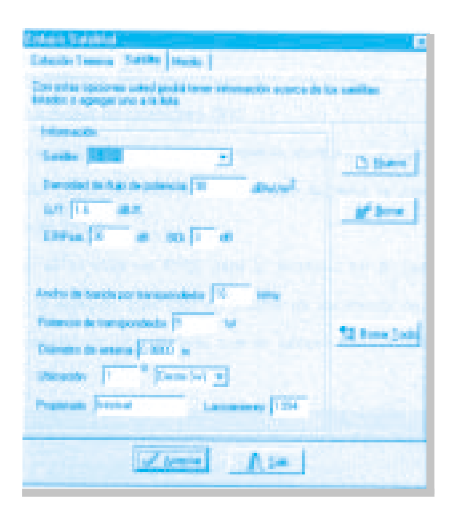
- **Frecuencia:** Es la frecuencia de ascenso o descenso en la que opera el enlace.
- **G/T:** Figura de mérito del receptor de la estación terrena. Es calculado internamente para hallar la ganancia de la antena receptora.
- **Ganancia de antena:** Es el valor de ganancia de la antena receptora. Este valor puede ser pequeño comparado con el de la antena en régimen de transmisión.
- **Tlnb :** Es la temperatura de ruido del LNB de la estación terrena , este valor puede variar desde 25 grados Kelvin hasta 165 en estaciones grandes.
- **C/N:** Es el valor de la relación portadora a ruido, es un valor de resultado que permanece deshabilitado como entrada de datos para esta versión del programa.
- **Separación:** Es el valor de separación que se exige en la estación transmisora o receptora. Los valores típicos actuales son de 2 grados.
- **Ancho de banda:** El análisis esta centrado básicamente en transmisión digital por lo tanto este

El tercer módulo sirve para generar patrones de radiación de antenas tipo reflectores parabólicos con alimentación central.

valor es de salida para que el usuario lo pueda verificar rápidamente cuando desee cambiar parámetros.

- **Potencia de antena:** Es el valor de potencia de la portadora en el flange de la antena transmisora y se usa para obtener la PIRE de la estación terrena.
- **Pérdidas adicionales:** Al igual que en el enlace punto a punto existe unas perdidas adicionales que el diseñador debe agregar considerando los elementos que ha introducido en el sistema.

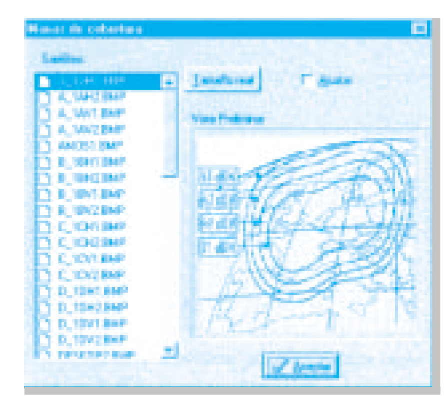
En la segunda carpeta aparecen los parámetros del satélite. Esta carpeta tiene la ventaja de permitir la introducción de más satélites. Los datos relevantes para lograr esto son:



- **Ubicación:** Es la posición con respecto al meridiano cero del satélite sobre el ecuador.
- **Propietario:** Es el dueño o constructor del satélite a considerar.
- **Lanzamiento:** Todos los satélites tienen una vida útil y esta empieza a acortarse a partir de la fecha de lanzamiento (4).

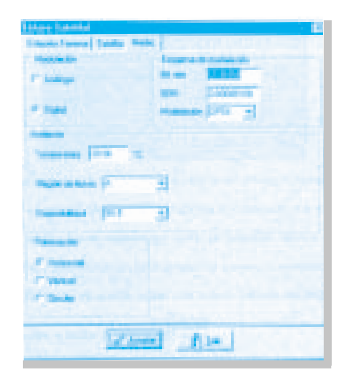
Los otros parámetros que se tienen en cuenta son:

- **Densidad de flujo de potencia:** Es el valor SFD obtenido en los mapas de SFD de los satélites. Esta información esta disponible en libros dedicados únicamente a mapas de cobertura y SFD (4).
- **G/T:** Es la figura del merito del satélite. Este valor suele ser muy bajo debido a que la antena esta orientada hacia la tierra la cual posee una temperatura de ruido de 290 K.
- **PIRE:** Es el valor de PIRE para la localidad en la cual se desea establecer la estación. Este dato se obtiene de los mapas de cobertura. El programa cuenta con un submenú al que se accesa con **Síntesis/Mapas de cobertura:**



Una característica importante de este visualizador de mapas de cobertura es que el usuario puede introducir otros si los mismos están en el formato BMP y los graba en el subdirectorio **Mapas del Directorio CadCom o el de instalación.**

En la carpeta parámetros del medio aparece la información relativa a tipo de modulación y en el caso de que sea digital aparece además, velocidad de transmisión, BER y el tipo de modulación, generalmente se utiliza QPSK para los enlaces satelitales.



Los datos de medio ambiente especifican la zona climática según el CCIR y el nivel de disponibilidad que se desea, además del tipo de modulación y polarización utilizada:



Los resultados aparecen como en la ventana anterior y muestran:

- **Elevación y acimut:** Conocidos como ángulos de vista y se miden con respecto a la superficie.

- **Distancia total:** Es la separación entre la estación terrena y el satélite escogido. Para seleccionar un satélite solo es necesario buscarlo en la casilla correspondiente. Si se quiere editar uno nuevo, solo es necesario entrar los datos correspondientes y pulsar el botón

Los otros dos botones sirven para eliminar los datos que se introducen al archivo de satélites **Satélites.cad**.

SÍNTESIS DE ANTENAS

El tercer módulo sirve para generar patrones de radiación de antenas tipo reflectores parabólicos con alimentación central. Para acceder a este módulo se pulsa la secuencia **Análisis/Antenas de apertura.**

Para hacer cambios a patrón de radiación es necesario utilizar el menú **Parámetros/Cálculo** y se desplegara la siguiente ventana:



Los valores que aparecen son los siguientes:

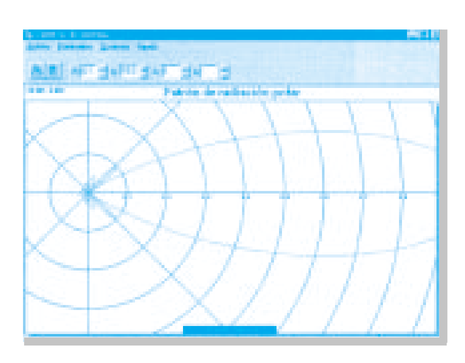
- **Ganancia:** Ganancia de la antena parabólica en dB.
- **F/D:** Relación foco-diámetro de la antena. Importante para calcular el VSWR del sistema.
- **Frecuencia:** Es la frecuencia de trabajo con la que se desea hacer el diseño.
- **Diámetro:** El diámetro es un resultado arrojado por el programa.

Dentro de las opciones gráficas se tienen

- **Logarítmico:** Muestra el patrón de radiación en forma logarítmica y referenciado a 0 dB.
- **Lineal:** Muestra el patrón de radiación en forma lineal y referenciado a 1.
- **Polar:** Muestra el patrón de radiación en forma polar, la cual es la forma más difundida:

Pulsando el ratón en su botón izquierdo sobre la ventana se obtiene el valor de ganancia y ángulo, con el botón derecho se pueden obtener alternativas como **zoom**, **impresión**, **grabación en archivos.**

Términos de la serie: Ya que la obtención del patrón de radiación tiene que ver con funciones de Bessel de primera clase (5), es necesario que el usuario introduzca el número de términos con los que se calcularán los primeros puntos del patrón.



Los resultados se obtienen pulsando el botón **alimentador** y aparece la siguiente ventana:



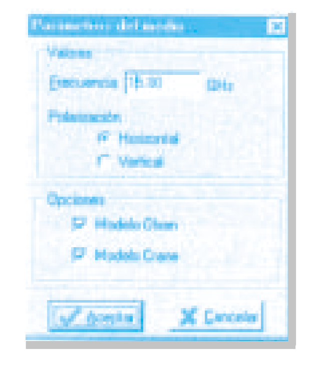
La primera parte de los resultados son los parámetros eléctricos y dimensiones mecánicas del alimentador. La segunda parte de estos son los datos de la antena como son el VSWR, el ancho del lóbulo principal, diámetro, relación delante – detrás, etc.

Por medio del botón **Opciones/Reflector** se puede obtener el patrón de radiación estándar que se genera para el diseño.

- **Términos de la serie:** Ya que la obtención del patrón de radiación tiene que ver con funciones de Bessel de primera clase (5), es necesario que el usuario introduzca el número de términos con los que se calcularán los primeros puntos del patrón. Si el número de términos es pequeño aumenta la velocidad de cómputo, sin embargo, para ángulos de apertura grandes una aproximación asintótica pasa a trazar la curva y la velocidad de cómputo aumenta.
- **Factores de alumbramiento:** Esta relacionado con la forma en que es alumbrada la apertura y la rapidez con que decrece la intensidad de iluminación hacia los bordes del espejo (1)(5).

Un valor típico parar antenas Prime Focus es de –10 dB en los bordes, mientras que para antenas Cassegrain es de –20 dB.

- **Alimentador:** Estos datos son introducidos por el usuario para la confección del mismo.



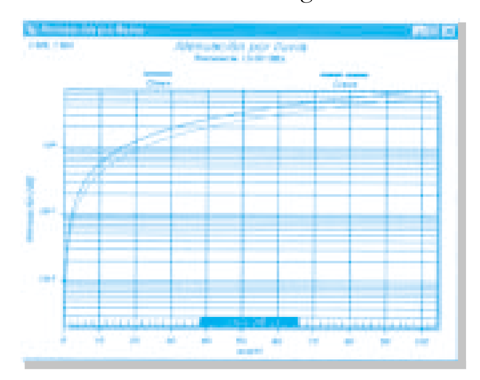
FUNCIONES ADICIONALES

Dentro de las funciones adicionales se encuentran:

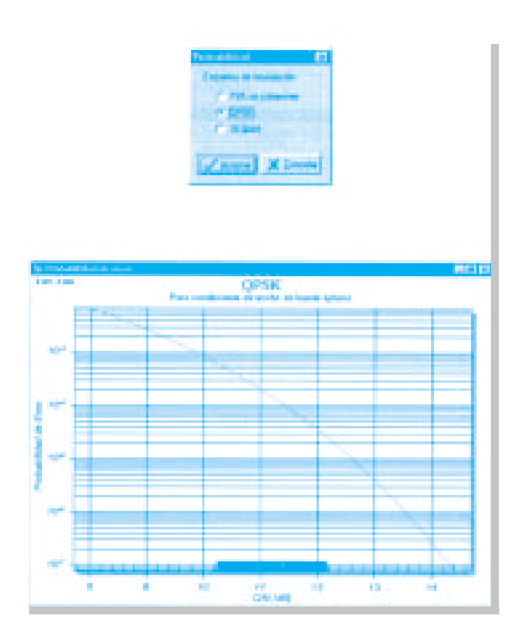
- **Análisis de atenuación por lluvia:** Aquí se dan las gráficas correspondientes a la

atenuación por lluvia para los modelos Crane y Olsen de acuerdo a una frecuencia dada.

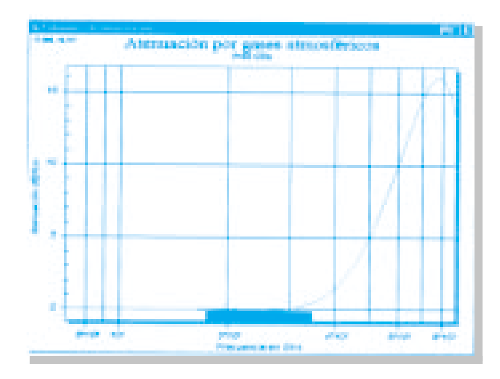
El resultado obtenido es el siguiente:



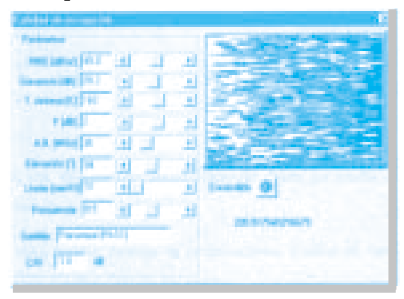
- **Análisis probabilidad de error:** Permite obtener las gráficas de Probabilidad de Error vs. Relación Portadora a Ruido en los sistemas FSK, QPSK y 16QAM.



- **Polinomios de interpolación:** Con esta opción se accede a una gráfica generada utilizando los polinomios de interpolación de Lagrange (6). Esta es una interesante propuesta para que sean conocidos y usados extensivamente en cálculos computacionales complejos.



- **Ajuste de Sintonía:** Finalmente aquí se emula un pequeño televisor en el cual se puede apreciar como "sería la imagen" para cada una de las condiciones de recepción dadas para enlaces satelitales de TV. Es bastante útil e ilustrativo, esta basado en un pequeño programa europeo que realiza las mismas operaciones.



CadCom 2.0 se ha estado usando ampliamente como ayuda para la enseñanza y el aprendizaje en materias relacionadas con el estudio de enlaces de radio, tanto en pregrado como en postgrado. Los resultados obtenidos son alentadores y confirman el potencial de estas herramientas cuando se intenta aproximar la academia al desempeño profesional, especialmente en temáticas donde la componente practica no siempre es fácil de implementar.

El programa se ha utilizado también en el ámbito de soluciones prácticas con resultados satisfactorios.

Resulta conveniente entonces integrar en una aplicación de software los escenarios académico y empresarial.

REFERENCIAS

(1) Gonzáles Germán H. y Quiroga Jorge E., Software para el cálculo de radioenlaces, Tesis de grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital. 1997

(2) Crane Robert K., Prediction of Attenuation by rain, IEEE transactions on communications, Vol. Com 28, No. 9, septiembre de 1980, páginas 1717 – 1733.

(3) L. Olsen Roderic, Rogers David V. and Hodge Daniel B., IEEE transactions on antennas and propagation, Vol. AP – 26, No. 2, Marzo de 1978, páginas 318 – 328

(4) H Tri T., Digital Satellite Communications, Mc Graw Hill International Editions. USA 1990, segunda edición. Crane Robert K., Prediction of Attenuation by Rain, IEEE transactions on communications, Vol. Com 28, No. 9, septiembre de 1980, páginas 1717 – 1733.

(5) Balanis Constantine A., Antenna Theory: Analysis and Design, John Wiley and Sons Inc. 1982.

(6) Apóstol Tom M., Calculus Vol 2, Editorial Reverte Colombiana S.A. 1988, segunda edición.

Juan Carlos Gómez Paredes.
Ingeniero en Telecomunicaciones, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (I.S.P.J.A.E), Ciudad de la Habana, Cuba. Esp. Computadores Aplicados a la enseñanza de la ingeniería, I.S.P.J.A.E. – Universidad de la Habana, Ciudad de la Habana, Cuba. Msc. Sistemas de Transmisión por Fibras Ópticas, I.S.P.J.A.E. – Universidad de la Habana, Ciudad de la Habana, Cuba. Profesor del Proyecto Curricular de Ingeniería Electrónica y de la Especialización en Comunicaciones Móviles, Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital "Francisco José de Caldas". jcgomez95@hotmail.com

Germán H. Gonzáles
Ingeniero Electrónico. Universidad Distrital.

Jorge E. Quiroga
Ingeniero Electrónico. Universidad Distrital.